

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ И ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЦЕПЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

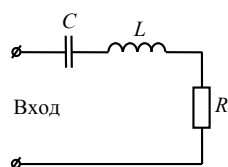
Ю. Н. Ляховец, В. А. Черехун

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь

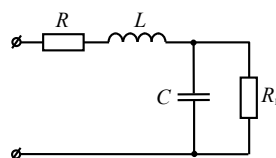
Научный руководитель Л. Г. Бычкова

Как известно, последовательный резонансный контур, представленный на рис. 1, а, обладает свойством усиления напряжения и избирательными свойствами. Если снимать выходное напряжение с емкости, то передаточная функция определяется соотношением

$$\underline{H}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\frac{1}{LC}}{-\omega^2 + j\omega\left(\frac{R}{L}\right) + \frac{1}{LC}}. \quad (1)$$



а)



б)

Рис. 1. Пассивный контур: а – без нагрузки; б – с нагрузкой

Коэффициент $\omega \frac{R}{L} = \omega \frac{\omega_0}{Q}$, где $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ – добротность контура, $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$, где ω_0 – резонансная частота.

Таким образом,

$$\underline{H}_u = \frac{\omega_0^2}{-\omega^2 + j\omega \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}. \quad (2)$$

При $\omega = \omega_0$, $H_u = Q$.

Чем выше добротность контура, тем больше коэффициент передачи и уже полоса пропускания контура. Большим недостатком этой схемы является малое входное сопротивление на резонансной частоте, поскольку увеличение сопротивления R приводит к уменьшению добротности Q и ухудшению свойств контура. При подключении нагрузки (рис. 1, б) активное сопротивление и резонансная частота контура изменяются:

$$R_{\text{вх}} = R + \frac{R_n}{(R_n \omega C)^2 + 1}; \quad \omega'_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{(R_n C)^2}} \quad (3)$$

Можно показать, что отношение частоты w_0 и добротности Q в контуре без нагрузки определяются по формулам:

$$\frac{w'_0}{w_0} = \sqrt{1 - \gamma^2}; \quad \frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\gamma^2}}{1 + \frac{Q}{\gamma}}},$$

где $\gamma = \frac{R_n}{\rho}$; $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$. (4)

Анализ формул (4) показывает, что свойства контура сохраняются, если $\gamma \geq 100$, т. е. при достаточно больших нагрузках $R_n \geq 100$. Это является недостатком пассивного колебательного контура.

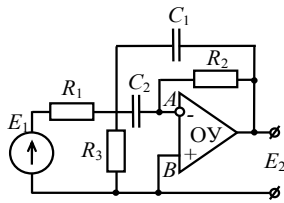


Рис. 2. Активный контур

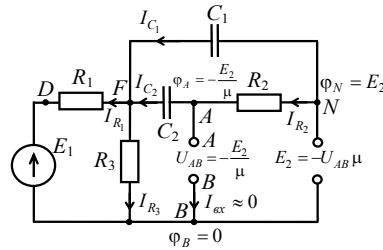


Рис. 3. Схема замещения активного контура

Этого недостатка лишены активные цепи с зависимыми источниками. На рис. 2 показана схема активного контура и его расчетная схема замещения. Как известно, о свойствах цепей можно судить по расположению корней знаменателя передаточной функции. Расчет цепи выполнен методом узловых потенциалов. Операционный усилитель (ОУ) принят идеальным (коэффициентный усилитель $\mu \rightarrow \infty$, входное сопротивление ОУ $Z_{вх} = \infty$):

$$\begin{cases} \varphi_F \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + jwC_1 + jwC_2 \right) - jwC_2 \varphi_A = \frac{E_1}{R_1} + jwC_1 E_2; \\ -jwC_2 \varphi_F + \varphi_A \left(\frac{1}{R_2} + jwC_2 \right) = \frac{E_2}{R_2}. \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему (5), с учетом $\frac{E_2}{\mu} /_{\mu \rightarrow \infty} = 0$, $U_{AB} = 0$, получим передаточную функцию:

$$\underline{H}_u = \frac{\underline{E}_2}{\underline{E}_1} = \frac{\frac{jw}{R_1 C}}{-w^2 + jw \left(\frac{2}{R_2 C} \right) + \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3 C^2} \right)}. \quad (6)$$

Цепь, описанная выражением (6), имеет такие же передаточные характеристики, как и пассивная RLC цепь [см. формулу (1)]. Следовательно, передаточные характеристики пассивного и активного контура одинаковы. Резонансная частота и добротность цепи с активными элементами:

$$w_0 = \frac{1}{C \sqrt{\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3}}}; \quad Q = \frac{w_0 CR}{2}. \quad (7)$$

Нами были экспериментально исследованы передаточные характеристики пассивного и активного контуров. На рис. 4 и 5 приведены графики передаточных характеристик для различных значений добротности и нагрузочного сопротивления в функции от относительной частоты $\eta = \frac{w}{w_0}$.

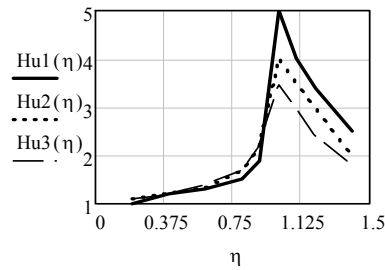


Рис. 4. Зависимость функции $HU(\eta)$ пассивного контура:
кривая $HU1(\eta)$ – без нагрузки; кривая $HU2(\eta)$ – с $RH = 3$ кОм;
кривая $HU3(\eta)$ – с $RH = 10$ кОм

Как видно из графика, при уменьшении нагрузки максимальное значение коэффициента передачи по напряжению HU падает.

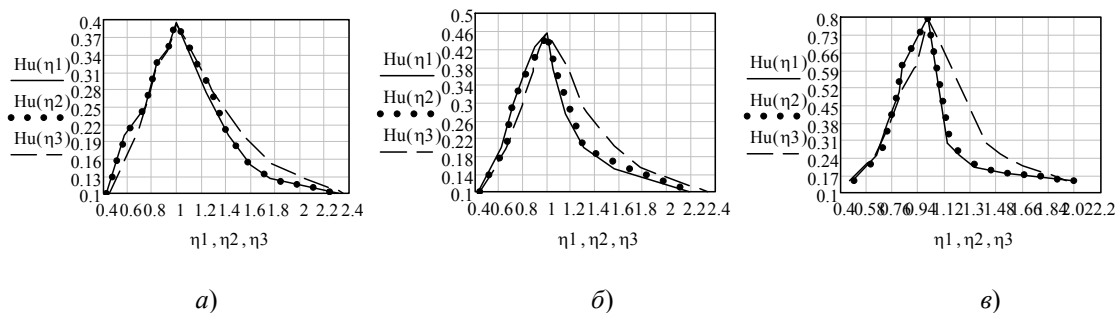


Рис. 5. Зависимости функции $HU(\eta)$ активного контура:
кривая $HU1(\eta)$ – без нагрузки; кривая $HU2(\eta)$ – с $RH = 100$ Ом;
кривая $HU3(\eta)$ – с $RH = 1000$ Ом: а – значение добротности Q минимально;
б – среднее значение добротности Q ; в – максимальное значение добротности Q

Как видно из графиков, коэффициент передачи по напряжению Hu не зависит от величины подключенной нагрузки.

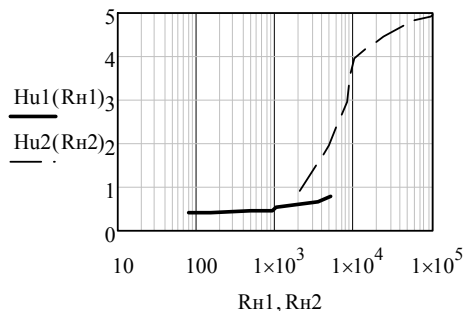


Рис. 6. Зависимости максимальное значение коэффициента передачи по напряжению от сопротивления нагрузки в активном и пассивном контурах:
кривая $Hu1(R_{n1})$ – зависимость для активного контура;
кривая $Hu2(R_{n2})$ – зависимость для пассивного контура

На данном графике наглядно видно, что коэффициент передачи по напряжению в пассивном контуре $Hu2(R_{n2})$ сильно зависит от величины подключенной нагрузки, в активном же контуре $Hu1(R_{n1})$ коэффициент не изменяется.

Таким образом, в работе показано, что активный контур имеет характеристики подобные пассивному резонансному контуру. И при этом свойства активного контура оказываются лучше, чем у пассивного: коэффициент передачи и добротность не зависят от нагрузки. Результаты исследования внедрены в учебный процесс в качестве учебно-исследовательской работы.